6Д

УДК 621.865.8

О.В. Даринцев, А.Б. Мигранов
Институт механики УНЦ РАН, г. Уфа, Российская Федерация
ovd@imech.anrb.ru, abm@imech.anrb.ru

Использование нейросетевых предикторов для оценки корректности выполнения операций удержания микрообъектов*

В статье рассматриваются вопросы построения интеллектуальных систем управления микромеханическими системами, в которых используются нейросетевые блоки предсказания (предикторы). Несмотря на показанную экспериментально эффективность уже известных схем управления с использованием предикторов, они применимы только к процессам захвата и выпускания микрообъектов. Вместе с тем одними из главных проблем при реализации операций удержания объектов в захватном устройстве микроманипулятора являются деформации и разрушения микрообъектов в губках захватных устройств. Для решения этой проблемы авторами предлагается включение в контур управления дополнительного блока, отвечающего за корректность выполнения операций удержания микрообъектов путем косвенной оценки усилий в исполнительном устройстве микроманипулятора.

Проблема выполнения микроманипуляционных операций с объектами, размеры которых менее 1 мм, достаточно известна [1-4]. Прежде всего, это воздействие недетерминированных, сигнальных и параметрических помех на «механику» процессов захвата и выпускания объектов сборки. В условиях «микромира» гравитационные и инерционные силы, пропорциональные объему объекта, оказывают меньшее влияние на технологические процессы по сравнению с силами адгезии (кулоновские силы, контактная электрификация, сохранение зарядов в диэлектриках, силы Ван-дер-Ваальса, силы поверхностного натяжения, силы сцепления (pull-off force) и эффекты микротрибологии), возникающими при контакте микрообъектов с рабочими поверхностями инструментов, манипуляторов и технологической оснастки и пропорциональные площади. Все эти явления в конечном счете оказывают возмущения непредсказуемого и сложнопрогнозируемого характера, влияющие на эффективность процессов управления микроманипуляционными устройствами как объектами управления.

В работе [5] показано, что при разработке систем регулирования и синтезе законов управления микроманипуляционными системами для компенсации действующих возмущений одним из перспективных подходов является включение в контур управления регуляторов на базе методов искусственного интеллекта. В предлагаемом [5] подходе компенсация возмущений «микромира» основана на синтезе интеллектуальной системы управления с блоком предсказания (предиктором), построенным в нейросетевом базисе и использующем в процессе функционирования как результаты моделирования поведения микрообъектов, так и текущую информацию с сенсорных систем. Эффективность процессов управления определяется точностью прогнозов, которая зависит от репрезентативности обучающей выборки и настроечных параметров нейросетевого предиктора.

---

* Работа выполнена при финансовой поддержке программы № 15 фундаментальных исследований ОЭММПУ РАН, грантов РФФИ № 08-08-97021-р_поволжье_а, 08-08-97039-р_поволжье_а.

В зависимости от прогноза, в системе управления генерируются либо базовые сигналы управления микроманипуляционными устройствами, либо сигналы компенсации погрешностей путем изменения базовых характеристик объекта управления.

Несмотря на показанную экспериментально эффективность рассмотренной схемы управления, она применима только к процессам захвата и выпускания микрообъектов. Вместе с тем, значительные проблемы возникают при реализации операции удержания объектов в захватном устройстве микроманипулятора. Главная из проблем связана с деформациями и разрушениями микрообъектов губками захватных устройств.

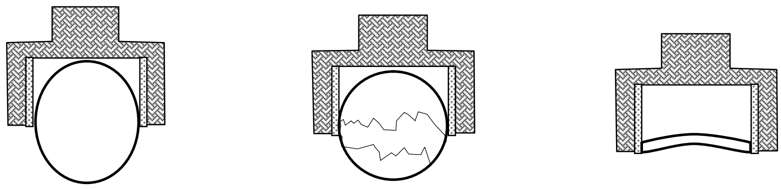


Рисунок 1 – Различные виды деформаций и разрушение структуры микрообъектов губками захватных устройств микроманипуляторов

Усугубляющими факторами подобного развития технологических операций является отсутствие точных данных об усилиях в исполнительных устройствах, неполнота информации об окружающей среде и микрообъектах, неопределенность координат рабочих органов, целевых точек, отсутствие исчерпывающих данных о текущих параметрах функционирования технологического оборудования и т.д.

Все это связано с целым рядом причин, такими, как:

– недостаточная чувствительность и ограниченный диапазон сенсорных систем: силометрических, тактильных датчиков, датчиков положения, проскальзывания и т.д.;

– значительное запаздывание, вызванное конечностью времени, необходимого для отработки результатов, полученных с сенсорных систем, например с СТЗ;

– наличие зазоров и люфтов в кинематических парах микромеханизмов перемещения деталей;

– инерционность движущихся узлов микроманипуляторов.

Для решения рассмотренной проблемы предлагается включение в контур управления дополнительного блока, отвечающего за корректность выполнения операций удержания микрообъектов путем косвенной оценки усилий в исполнительном устройстве микроманипулятора. Следует отметить, что в условиях, когда проанализировать и учесть влияние каждого из возмущающих факторов практически невозможно из-за отсутствия численных показателей для большинства из них или их оценка требует значительных временных затрат, достаточно эффективно могут быть использованы интеллектуальные методы. С учетом этого указанный блок корректности предлагается реализовать в виде нейросетевого предиктора, настройка и обучение которого будут основаны на экспериментальных данных корректности выполнения операций удержания различных типов микрообъектов. Кроме предотвращения деформаций и разрушений микрообъектов, можно выделить и другие преимущества, достигаемые при использовании блока корректности:

– увеличение скорости выполнения микроманипуляционных операций за счет снижения требований к качеству процессов контроля;

– снижение максимальных усилий, развиваемых приводом исполнительного устройства микроманипулятора за счет определения более точных границ необходимых усилий для всех возможных типов микрообъектов;

– снижение габаритов и массы микроманипулятора, экономия дорогостоящих материалов за счет меньших нагрузок на элементы конструкции захватного устройства.

Общий принцип работы предиктора в интеллектуальной системе управления захватным устройством может быть представлен в виде схемы на рис. 2.

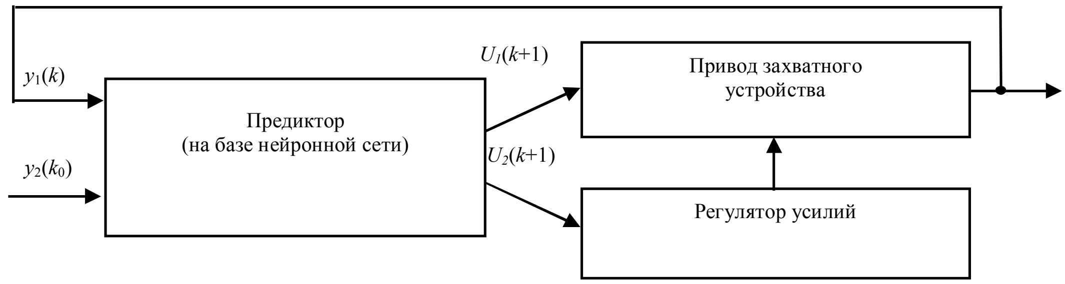


Рисунок 2 – Предиктор на базе интеллектуальных методов в системе управления захватным устройством

На рис. 2 отмечены следующие входные данные:
– $y_1(k)$ – сигнал обратной связи (информация с датчиков и системы технического зрения);
– $y_2(k0)$ – косвенные факторы корректности выполнения операции удержания микрообъектов (в виде констант на основе эмпирической информации, которые не могут определяться контрольно-измерительными системами).

На выходе предиктора формируются сигналы $U_1(k + 1)$, при корректном выполнении текущей операции, и сигналы $U_2(k + 1)$, когда текущая операция может завершиться деформацией или разрушением микрообъекта.

Общий принцип построения нейросетевой прогнозирующей модели управления микроманипулятором с использованием двух предикторов может быть представлен в виде концептуальной схемы, изображенной на рис. 3.

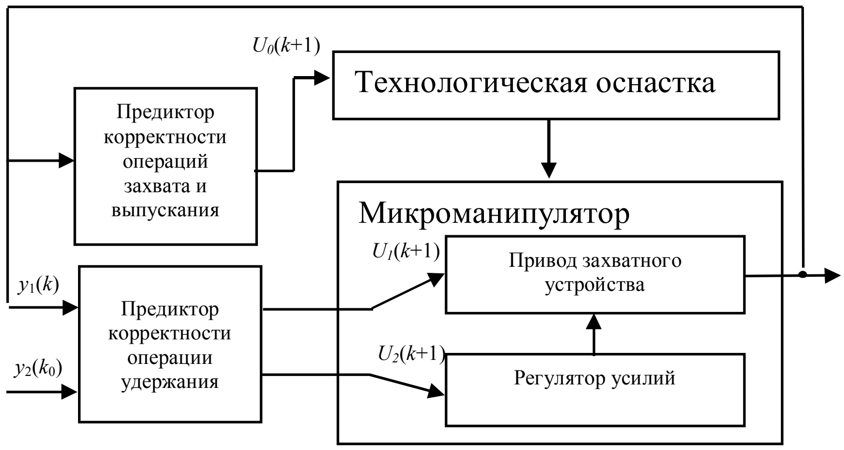


Рисунок 3 – Управление микроманипулятором с использованием двух предикторов

В представленной схеме на рис. 3 предиктор корректности операций захвата и выпускания предназначен для генерации базовых сигналов $U_0(k + 1)$ управления микроманипуляционным устройством и компенсации погрешностей путем изменения базовых характеристик объекта управления.

Основной проблемой на практике при синтезе нейросетевой модели динамического объекта является порядок формирования набора тренировочных шаблонов по экспериментальным данным об объекте. Задача состоит в том, чтобы найти такую достаточно компактную структуру сети, которая смогла бы сначала запомнить все эти данные, а затем, на основании усвоенных ею знаний об объекте, интерполировать его поведение при новых для нее сочетаниях входных сигналов. При этом информационная

емкость сети зависит не столько от размера скрытого слоя, сколько от размера входного слоя. Практика показывает, что 50 – 60 нейронов оказывается достаточно для большинства практических задач из области технических приложений. Проблема состоит в том, что, представляя причинно-следственные связи, определяющие поведение микрообъекта, невозможно априорно сказать, какую предысторию выходной координаты нужно подавать на вход сети, чтобы она сумела запомнить весь тренировочный набор шаблонов. Таким образом, хотя источник шаблонов для обучения сети у нас один, тренировочных наборов сформировать из него можно множество.

Для решения поставленной задачи был осуществлен синтез предиктора, предсказывающего на основе векторов $y_1(k)$ и $y_2(k)$, а также их значений за один, два, три такта назад, ожидаемый в следующем такте вектор коэффициентов $y_2(k_{+1})$:

$$y_2(k_{+1}) = NN\big(y_1(k), y_2(k_0), y_2(k\ \ ), y_2(k_{-1}), y_2(k_{-2}), y_2(k_{-3})\big).$$

Предиктор синтезировался в виде одношагового предиктора на базе прямонаправленной трехслойной нейронной сети с радиально-базисными активационными функциями нейронов скрытого слоя (РБФ-сети):

$$f_i(Y, c_i, \sigma_i) = \exp\left(-\frac{1}{\sigma_i^2}\sum_{j=1}^{V}\left(Y_j - c_{i,j}\right)^2\right), \quad i = \overline{1, H},$$

где Y = ($y_1(k)$, $y_2(k_0)$, $y_1(k)$ … $y_1(k_{-3})$) – вектор входных сигналов сети, $c_i = \left(c_{i,1}, c_{i,2}, \ldots, c_{i,V}\right)$ – вектор координат центра активационной функции i-го нейрона скрытого слоя, σ_i – ширина окна активационной функции, V – количество нейронов во входном слое сети, H – количество нейронов в скрытом слое.

Линейные нейроны входного слоя служат для приема и ретрансляции входных сигналов на нейроны скрытого слоя, которые и осуществляют нелинейное преобразование информации. Предсказание генерирует выходной нейрон, вычисляющий взвешенную сумму выходных сигналов нейронов скрытого слоя:

$$Y_2(k_{+1}) = \sum_{i=1}^{H} w_i f\left(Y, c_i, \sigma_i\right),$$

где w_i, $i = \overline{1, H}$ – вес его связи с i-тым нейроном скрытого слоя.

Настраиваемыми параметрами сети в данном подходе являются параметры активационных функций нейронов скрытого слоя, а также синаптические связи между нейронами скрытого слоя и выходным нейроном.

Как объект настройки, РБФ-сеть описывается совокупностью $(V + 2)H$ параметров. При этом размерность поискового пространства возрастает и при увеличении объема входной информации, а следовательно числа входных нейронов, в таком огромном пространстве становится необходим мощный поисковый метод, в качестве которого могут быть использованы генетические алгоритмы.

Главной отличительной особенностью одношагового предиктора является то, что он использует знания о прошлом поведении объекта, которые аккумулируются в архитектуре и настроечных параметрах нейронной сети, для предсказания ближайшего состояния объекта по известному текущему состоянию, а также предыстории внешних возмущений и управляющих воздействий.

Для обучения нейросетевого предиктора была использована стандартная схема контролируемого обучения. В классическом варианте обучения РБФ-сети предусматривается размещение центров активационных функций нейронов скрытого слоя в точках входного пространства, для которых известен желаемый выход сети. Эти точки,

запишем их в следующем виде, называют набором тренировочных шаблонов (НТШ). Затем для каждого нейрона скрытого слоя выбирают ширину окна активационной функции, после чего вычисляются синаптические веса w, и сеть будет «помнить» обучающую выборку.

При общем объеме набора тренировочных шаблонов (НТШ) в 2000 точек скрытый слой РБФ-сети предиктора содержал всего 19 нейронов. Синтез занял 3200 эпох. При прогнозировании на 4 шага (такта) вперед погрешность прогнозирования коэффициента соотношения базовых эффектов микровзаимодействий не превысила 5 – 12 %. Все это указывает на перспективность использования нейросетевых технологий для решения задач управления в микроробототехнике.

Заключение

Использование микроманипуляторов с предложенной нейросетевой моделью управления наиболее перспективно в задачах по сборке гибридных микросистем, когда отдельные детали имеют толщину несколько мкм и ниже (кантилеверы, пластины, мембраны и т.д.) и соответственно требуется высокая точность в прикладываемых усилиях. В настоящее время авторами проводятся исследования, направленные на синтез оптимального по быстродействию и эффективности предиктора корректности операции удержания.

Литература

1. Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Манипуляционные микроробототехнические системы и проблемы производства гибридных МЭМС // Нано- и микросистемная техника. – 2005. – № 2. – С. 38-44.
2. Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Сборка гибридных МЭМС на основе трехмерной реконструкции состояния технологической среды // Нано- и микросистемная техника. – 2006. – № 12. – С. 36-40.
3. Arai F., Andou D., Fukuda T., Nonoda Y., Oota T. Micro manipulation based on micro physics-strategy based on attractive force reduction and stress measurement // IEEE/RSJ Conf. on Intell. Robots and Systems IROS ’95. – Vol. 2. – Pittsburgh (USA). – 1995. – P. 236-241.
4. Fearing R.S. Survey of sticking effects for micro parts handling // IEEE/RSJ Conf. on Intell. Robots and Systems. – Vol. 2. – Pittsburgh (PA). – 1995. – P. 212-217.
5. Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Использование методов искусственного интеллекта в системах управления микроманипуляционными устройствами // Искусственный интеллект. – 2004. – № 3. – С. 684-688.

О.В. Даринцев, А.Б. Мігранов

Використання нейромережних предикторів для оцінки коректності виконання операцій утримання мікрооб’єктів

У статті розглядаються питання побудови інтелектуальних систем управління мікромеханічними системами, в яких використовуються нейромережні блоки прогнозу (предиктори). Не дивлячись на показану експериментально ефективність вже відомих схем управління з використанням предикторов, вони застосовні тільки до процесів захоплення і випуску мікрооб’єктів. Разом з тим одними з головних проблем при реалізації операцій утримання об’єктів в захватному пристрої мікроманіпулятора є деформації і руйнування мікрооб’єктів в губках захватних пристроїв. Для вирішення цієї проблеми авторами пропонується включення в контур управління додаткового блоку, що відповідає за коректність виконання операцій утримання мікрооб’єктів шляхом непрямої оцінки зусиль у виконавчому пристрої мікроманіпулятора.

O.V. Darintsev, A.B. Migranov

In article questions of intellectual control systems designing for micromechanical systems, in which are used neuronetwork prediction blocks, are considered. Despite the efficiency of already known schemes of control shown experimentally with use predictions, they are applicable only to processes of capture microobjects. At the same time, one of the main problems at realization of operations of deduction of objects in gripper the micromanipulator device are deformations and destructions of microobjects in gripper sponges. For the decision of this problem authors inclusion in a control contour the additional block which is responsible for a correctness of performance of operations of deduction of microobjects by an indirect estimation of efforts in an actuation mechanism of the micromanipulator is offered.

Статья поступила в редакцию 08.08.2008.